

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОЛЕЙ В СТОЛБЕ ЖИДКОСТИ, ПОЛУЧЕННОМ ПОЛНЫМ ЗАМОРАЖИВАНИЕМ И ОТТАИВАНИЕМ РАСТВОРА

А.А.Русинова, Ю.М.Полежаев, А.И.Матерн
Уральский государственный технический университет-УПИ
620002, Екатеринбург, Мира, 28
mail@tehno.com

Поступила в редакцию 12 сентября 2001 г.

Установлена закономерность распределения солей в столбе жидкости, полученном полным замораживанием и оттаиванием раствора.

Русинова Анна Анатольевна – аспирантка кафедры аналитической химии Уральского Государственного технического университета.

Область научных интересов: концентрирование и анализ растворов.

Имеет 7 научных публикаций.

Полежаев Юрий Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры аналитической химии Уральского Государственного технического университета.

Область научных интересов: химия, технология и анализ веществ и материалов на основе редких металлов.

Автор свыше 420 научных и методических публикаций, в том числе 48 авторских свидетельств, 2 монографий и 2 учебных пособий.

Матерн Анатолий Иванович – декан химико-технологического факультета Уральского Государственного технического университета, заведующий кафедрой аналитической химии, кандидат химических наук, доцент.

Область научных интересов: физико-химические методы анализа органических объектов, исследование сорбционных материалов.

Автор свыше 50 научных и методических работ, в том числе 2 учебных пособий.

Одним из способов опреснения воды с применением холода является полное замораживание исходной воды с последующим вытапливанием рассола (концентрата) из льда. После плавления 15-20 % льда, концентрат отделяют от льда и последний плавят, получая частично опресненную воду [1].

Этот метод основан на том, что при повышении температуры до плюсовых значений в зоне, где находится лед, последний прогреваясь образует пористую структуру [2]. Микровключения замерзшего раствора более высокой концентрации плавятся раньше чистого льда, благодаря чему концентрат под действием гравитационных сил по порам стекает вниз, и лед опресняется. Если концентрат сразу же не отделять от льда, то

он скапливается на дне сосуда, а лед плавает на его поверхности и плавится, давая слой все более чистой воды. Таким образом, по высоте столба жидкости, образованном полным замораживанием раствора и его плавлением, возникает градиент концентраций. При отсутствии механических возмущений и невысокой температуре этот градиент концентраций может быть определен экспериментально.

Для установления характера распределения солей по высоте столба жидкости, полученного полным замораживанием и оттаиванием раствора, мы провели специальные эксперименты. Методика экспериментов состояла в следующем.

В цилиндрические пластиковые сосуды вместимостью 1,5 литра и диаметром 88 мм заливали

1,4 л исследуемой жидкости и полностью замораживали содержимое в бытовой морозильной камере «Юрюзань-111». Непосредственно после загрузки камеры температура в ней составляла -9°C , по мере промораживания растворов, температура в камере понижалась и при полном промораживании всей загрузки (5 сосудов с раствором) составляла -30°C . Время полного промораживания в таком режиме составляло 26-28 ч. После полного промораживания производили оттаивание содержимого сосудов. В процессе оттаивания сосуд находился неподвижно в вертикальном положении. После полного оттаивания жидкости, до самого дна сосуда погружали стеклянную сифонную трубку диаметром 4 мм к противоположному концу которой был присоединен резиновый шланг. На нем устанавливали винтовой зажим для регулирования скорости сифонирования жидкости. Последнюю подсасывали резиновой грушей, и зажимом устанавливали скорость сифонирования 10-20 мл/мин. Жидкость отбирали порциями по 50 мл, и в каждой порции измеряли удельную электропроводность кондуктометром LF-300 (производства германской фирмы WTW). Удельная электропроводность служила мерой суммарной концентрации электролита в растворе.

Общепринятой мерой суммарного содержания солей и нерастворенных в воде примесей является сухой остаток, поэтому мы провели эксперименты по установлению корреляции между сухим остатком и удельной электропроводностью воды. Для исследуемой нами водопроводной воды эта корреляция выражается уравнением

$$C_{\text{co}} = 1,06 \cdot H,$$

где C_{co} – содержание сухого остатка, мг/л; H – удельная электропроводность, мкСм/см; 1,06 – коэффициент перехода от удельной электропроводности к содержанию сухого остатка.

Установленная корреляция позволяет заключить, что удельная электропроводность является тем параметром, который достаточно точно характеризует общее солесодержание исследуемой воды.

На рис. представлено изменение удельной электропроводности водопроводной воды после ее полного замораживания и оттаивания при 22°C . Зависимость с высокой степенью корреляции описывается уравнением

$$H = a \cdot V^b,$$

где H – удельная электропроводность, мкСм/см; V – объем жидкости от дна сосуда, мл; a и b – по-

стоянные, зависящие от природы растворенных в воде компонентов.

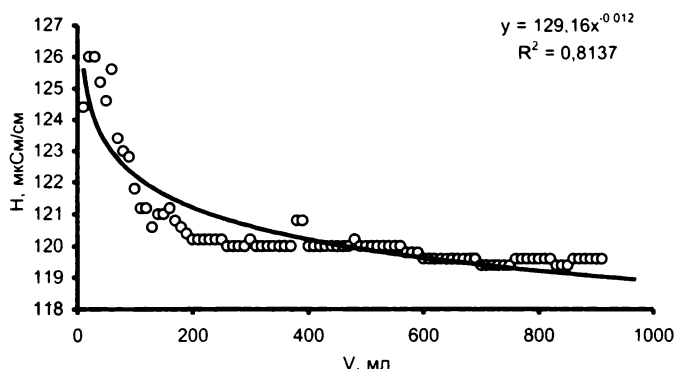


Рис.1. Изменение удельной электропроводности (H , мкСм/см) по высоте столба жидкости, полученного замораживанием и оттаиванием при 22°C водопроводной воды с исходной $H=335$ мкСм/см

Высота столба жидкости выражается пропорциональной ей величиной объема при отсчете от дна сосуда.

В формуле на рисунке $y=H$, $x=V$, R – коэффициент корреляции.

На рис. 2 представлена та же зависимость для температуры оттаивания 7°C . Кривая уже не описывается вышеприведенным уравнением: она разделяется на два практически линейных участка. От дна сосуда и до уровня 400 мл наблюдается уменьшение удельной электропроводности, а далее она остается неизменной.

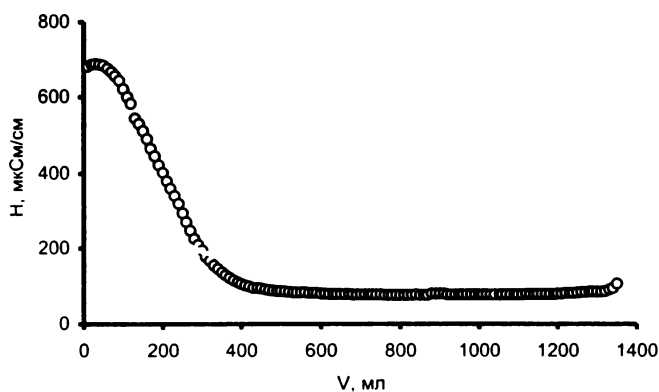


Рис.2. Изменение удельной электропроводности (H , мкСм/см) по высоте столба жидкости, полученного замораживанием и оттаиванием при 7°C водопроводной воды с исходной $H=335$ мкСм/см

Пояснения для оси абсцисс – см. подпись под рис. 1.

Таким образом, уровень 400 мл разделяет воду на нижний засоленный слой и верхний слой обессоленной воды. Эту же границу можно отнести и к рис. 1.

Более наглядно распределение солей по высоте цилиндрического сосуда показано на рис. 3.

Из этого рисунка видно, что в нижнем слое, составляющем по объему 400 мл воды, концентрация солей плавно нарастает по мере приближения ко дну сосуда, а в верхнем слое объемом 1000 мл, она остается постоянной. Для получения чистой воды сифонную трубку погружают до границы, отделяющей верхний чистый слой воды и его сифонируют. Чистую воду можно также слить прокалыванием отверстия в боковой стенке пластиковой бутылки на уровне раздела слоев загрязненной и чистой воды. Оставшуюся в сосуде загрязненную воду сливают в сток. Из одного сосуда вместимостью 1,5 л при заливе 1,4 л исходной

воды, получают 1 л чистой воды (выход чистой воды составляет 71,5%). При обработке таким образом водопроводной воды с исходной электропроводностью 335 мкСм/см получили 1 л чистой воды с электропроводностью 160 мкСм/см (оттаивание при 22°C в течение 1 суток) и в другом эксперименте – 1 л воды с электропроводностью 90 мкСм/см (оттаивание при 7°C в течение 14 суток). Следовательно, в первом варианте степень обессоливания составила 20,8 %, а во втором варианте – 65,5 %. Повторение способа по отношению к очищенной воде позволяет снизить общее солесодержание до любой желаемой величины.

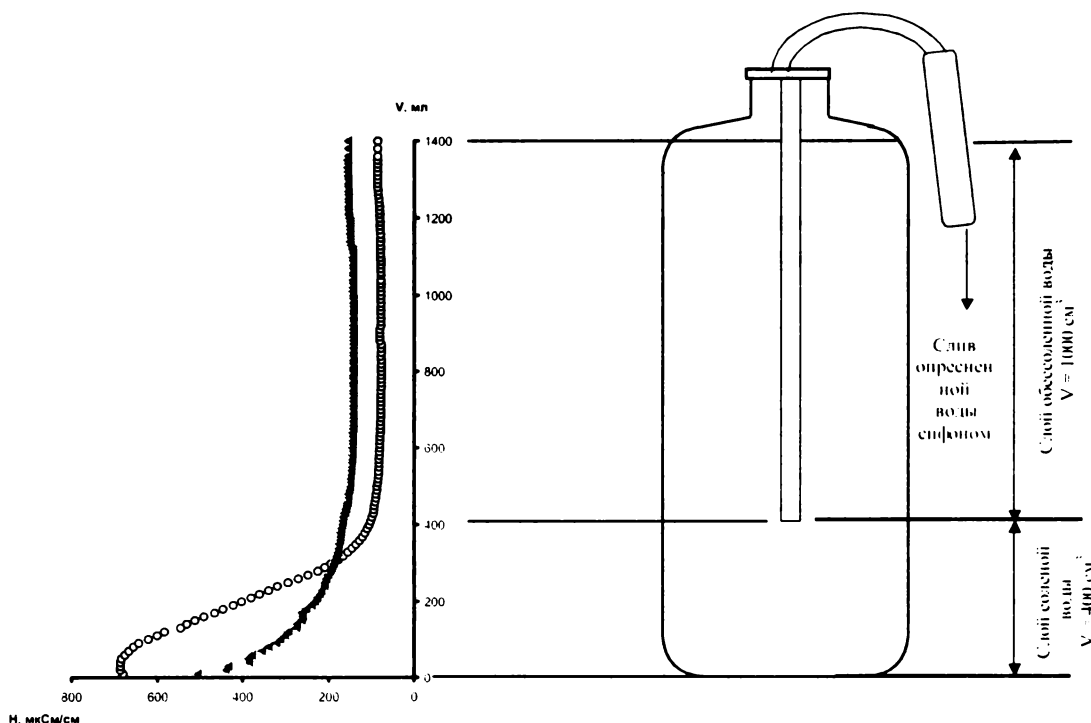


Рис.3. Изменение удельной электропроводности (H , мкСм/см) по высоте столба жидкости, полученной замораживанием и оттаиванием при 7 °С (кривая 1) и при 22 °С (кривая 2) водопроводной воды в привязке к сосуду, в котором осуществляли процесс.

На рисунке показана граница, разделяющая слой соленой и обессоленной воды и положение сифонной трубки для слива обессоленной воды

Таким образом, можно осуществлять и концентрирование раствора, получая в донной части концентрат. С этой целью были проведены эксперименты на 0,01 М растворах неорганических солей. Характеристики растворов и результаты экспериментов представлены в таблице.

Из этой таблицы видно, что при одинаковой концентрации растворов степень их концентрирования зависит от величины исходной удельной электропроводности раствора: чем она выше, тем меньше степень концентрирования.

Для того, чтобы при оттаивании сформировался слой очищенной воды, высота столба жидкости должна быть достаточной. По нашим данным разделение на слой очищенной и соленой воды

будет отчетливым при использовании сосуда, в котором отношение высоты столба жидкости к его диаметру (линейному размеру поперечного сечения) ≥ 2 . После оттаивания льда градиент концентрации солей по высоте столба жидкости в неподвижном сосуде сохраняется при комнатной температуре около недели, хотя за счет диффузии происходит постепенное усреднение концентрации по всему объему. Поэтому слив чистой воды следует делать не позднее, чем через сутки после оттаивания, лучше – не позднее, чем через 1 ч. С понижением температуры хранения оттаявшей жидкости это время можно увеличивать. Например, при 10°C интервал между оттаиванием и сливом может достигать 5 дней, а при 7°C – 14 дней.

Характеристика растворов и результаты экспериментов по их замораживанию и оттаиванию

Раствор	Начальная удельная электропроводность раствора, мСм/см	Удельная электропроводность верхней части раствора объемом 1000 мл, мСм/см	Удельная электропроводность нижней части раствора объемом 400 мл, мСм/см	Коэффициент концентрирования
KNO ₃	1,128	0,445	2,785	2,47
BaCl ₂	1,753	0,953	3,583	2,04
MgSO ₄	3,2	2,06	5,68	1,77
FeCl ₃	4,34	2,37	5,97	1,38
Водопроводная вода	0,335	0,233	0,620	1,85

Таким образом, установленный характер распределения солей по высоте столба жидкости, полученной замораживанием и оттаиванием раствора, позволяет в простом техническом ис-

полнении использовать этот способ как для получения обессоленной воды, так и для получения концентрата. Его можно использовать в промышленности, быту и лабораторной практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пучко В.И. Новый способ опреснения воды вымораживанием // Гидротехника и мелиорация. 1949. №3. С.46-55.

2. Митин М.Ф. Опреснение воды методом естественного вымораживания // Гидротехника и мелиорация. 1963. №2. С. 20-27.

* * * * *